

# Estrategia didáctica para vincular distintos niveles de conceptualización. Estudio de un caso (Parte 1)

*Grupo Enseñanza de la Química: M.C. Angelini, E. Baumgartner, D. Guerrien, L. Landau, L. Lastres, M. Roverano, M. Sileo, N. Torres, I. Vázquez<sup>1</sup>*

## **Abstract (A didactic strategy to relate different conceptual levels. A case study)**

Introductory Chemistry at the Common Basic Course at Buenos Aires University is being taught to approximately 10,000 students each semester. Due to this massivity, up to now it has been impossible to have the students perform experimental work. In view of this fact and in order to facilitate the comprehension of the subjects included in the syllabus, it was decided to emphasize, along the whole course, the integration of the three conceptual levels through which Chemistry can be analysed: submicroscopic (nanoscopic), macroscopic and symbolic.

In the first part of this paper, some of the utilised examples are presented. An attempt to measure the efficiency of the applied didactic modifications, through diagnostic evaluations, was undertaken. The obtained results are presented in the second part.

## **Introducción**

Las ciencias fácticas cuentan, frente a las llamadas ciencias sociales, con el inestimable recurso de la experimentación para corroborar sus hipótesis y formular en consecuencia sus teorías. Este recurso sigue siendo fructífero cuando se trata de enseñar dichas ciencias; los alumnos tienen la posibilidad de conectar los conceptos con los correspondientes experimentos de laboratorio.

De esta manera, el lenguaje formal y algorítmico cuenta, para la mayoría de los contenidos, con un referente experimental en los laboratorios de enseñanza.

Pero este no es el caso para la asignatura Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires (CBC). La masividad de sus cursos (alrededor de 10,000 alumnos por cuatrimestre) y la falta, por ahora, de una asignación presupuestaria adecuada, tienen como consecuencia la casi inexistencia de actividades experimentales en este primer curso de química (se ofrecen algunas actividades

experimentales, en carácter de optativas, para alrededor de un centenar de alumnos).

Por otra parte, la Cátedra de Química del CBC ha realizado durante varios años consecutivos, evaluaciones diagnósticas para medir los conocimientos previos de los alumnos y el aprendizaje alcanzado durante el curso regular (Lastres y otros, 1997; Landau y otros, 1998).

El análisis de las evaluaciones de entrada indicó que aquellos contenidos que se enseñaron en la escuela media no fueron incorporados por los estudiantes bajo el doble aspecto requerido: comprensión de procesos por un lado, y aplicación a situaciones problemáticas por otro. Es decir, que la mayoría de los alumnos que acceden a este primer curso universitario de Química muestra conocimientos compartimentados e incorporados en forma memorística (Angelini y otros, 1999). Esto lleva a que un significativo porcentaje no logre rendimientos satisfactorios; los aprendizajes que se requieren para ello suponen un desempeño idóneo que les resulta difícil alcanzar en un cuatrimestre.

Es necesario aclarar que existen dificultades para realizar profundas modificaciones en la extensión y nivel de dificultad de los contenidos. Esto se debe a que el programa fue acordado por aquellas Facultades que tienen a la materia Química del CBC en el primer año de sus carreras.

Por su parte, los resultados obtenidos en las evaluaciones diagnósticas de salida llevaron al planteo de la hipótesis de que las respuestas poco satisfactorias se deberían a que los alumnos desarrollan habilidades para resolver con relativo éxito situaciones problemáticas usando algoritmos memorizados, pero sin la real comprensión de los conceptos químicos involucrados, tal como desde hace tiempo han hecho notar diferentes autores (Nurrenberm y Pickering, 1987; Gendell, 1987; Nakhleh y Mitchell, 1993).

Esta situación trató de paliarse con diferentes estrategias didácticas. Entre las primeras se contaron modificaciones en la secuenciación de contenidos e incorporación de ejercitaciones en la Guía de Problemas, que exigían una elaboración conceptual mayor.

Como los resultados, medidos a través de los exámenes parciales y de evaluaciones diagnósticas, no mostraron un correlato positivo con las modificaciones implementadas, se incorporó a las clases el desarrollo de demostraciones experimentales (Lastres y otros, 1998). Tal como lo sugiere su

<sup>1</sup> Ciclo Básico Común. Cátedra de Química. Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón III. (1428) Buenos Aires, República Argentina.

E-mail: llastres@cbc.uba.ar

denominación, estas demostraciones no son realizadas por los alumnos, aunque admiten contar con su participación activa en otros aspectos. Se esperaba que esas actividades contribuyeran a enriquecer la conexión del contenido teórico con su referente experimental e indujeran al alumno a una reflexión más allá de lo simbólico y algorítmico.

Posteriormente se decidió, a partir del primer cuatrimestre de 1998, enfatizar en el desarrollo del curso la integración de los tres niveles conceptuales de la Química mencionados por Johnstone (1991) y Gabel (1993): submicroscópico (nanoscópico), macroscópico y simbólico.

Como los únicos recursos didácticos que, por ahora, se cuentan para enseñar la materia son la tiza, el pizarrón, y habilidad e imaginación de los docentes en no pocas situaciones, se buscó la integración de dichos niveles a través de un uso más frecuente del modelo de partículas, para mejorar la comprensión de los temas. Como se sabe, la utilización del modelo de partículas permite vincular, de una manera sencilla y comprensible para los alumnos, la estructura a nivel submicroscópico de los sistemas materiales con su comportamiento macroscópico.

Además, el modelo de partículas tiene la ductilidad suficiente para ir "afinándolo", a medida que se avanza en la conceptualización, en la explicación de características e interacciones de esas partículas (átomos, moléculas, iones) y en los cambios por ellas experimentados.

Fue aplicado en el curso para lograr una mejor comprensión de las propiedades macroscópicas, de los cambios de estado y cambios químicos a partir del comportamiento submicroscópico de los sistemas. Siempre se lo hizo en forma articulada con los lenguajes simbólico y algorítmico clásicos, tratando de diferenciar claramente en las explicaciones cada uno de los niveles de análisis utilizados. Con esto se buscaba evitar el problema señalado hace poco por Gabel (1999): "como los docentes se mueven inadvertidamente de uno a otro nivel en sus clases, los alumnos fracasan en la integración entre estos niveles".

A los efectos de ponderar la eficacia de esta modificación didáctica, se incorporó a las evaluaciones diagnósticas que se administran a los alumnos al finalizar el curso, un cierto número de preguntas relacionadas con los diferentes niveles de conceptualización utilizados.

En la primera parte de este trabajo se transcriben algunos ejemplos del nuevo enfoque didáctico, tal como aparecen en la Guía de Problemas utilizada en el curso (Cátedra de Química, CBC, 1998 y posteriores). Además se incluyen algunos ítems con ese enfoque, utilizados en los exámenes con que se evaluó a los alumnos.

En la segunda parte se presenta el modelo de evaluación diagnóstica utilizado y se discuten los resultados obtenidos con ella.

## PRIMERA PARTE

### Aplicación del modelo de partículas en conexión con los niveles simbólico y macroscópico

Este modelo, utilizado como recurso en el desarrollo de las clases, fue también incorporado a la ejercitación propuesta en la Guía de Problemas que los alumnos trabajan durante las clases y en su aprendizaje individual. Las unidades desarrolladas en el curso son:

Unidad 1: Sistemas materiales. Átomos y moléculas.

Unidad 2: Estado gaseoso.

Unidad 3: Disoluciones.

Unidad 4: Estructura atómica. Clasificación periódica.

Unidad 5: Uniones químicas. Geometría molecular. Fuerzas intermoleculares.

Unidad 6: Reacciones químicas.

Unidad 7: Equilibrio químico. Equilibrio ácido-base.

Unidad 8: Nociones sobre relación entre estructura y propiedades, aplicada a compuestos orgánicos.

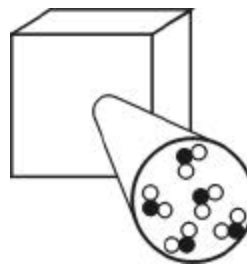
*¿Cómo se presenta el modelo a los alumnos?*

En la Guía de Problemas que usan los alumnos se presenta así:

La materia está compuesta por partículas (átomos, moléculas, iones) que son representadas por círculos aislados o agrupados según de qué tipo de partícula se trate.

En cualquier caso, debe quedar claro que dichas partículas no son visibles ni aún al microscopio electrónico.

Las representaciones que usaremos de las sustancias y sus cambios se basan en el supuesto siguiente: si tuviéramos, por ejemplo, un recipiente como el de la figura que contiene agua gaseosa a 25°C de temperatura y 1 atmósfera de presión y pudiéramos "ver" una pequeña porción del sistema (1 mm<sup>3</sup> del mismo) estaríamos "viendo" alrededor de 24.600.000.000.000 moléculas ( $2,4 \times 10^{16}$ ). De estas moléculas sólo dibujamos algunas, en este caso cinco moléculas de H<sub>2</sub>O. Desde luego, tanto el tamaño como la distancia entre las partículas no está a escala. Por lo dicho, estos esquemas son sólo una representación que usaremos para facilitar el aprendizaje.



Este modelo de partículas es ampliado con los postulados de la Teoría Cinética al tratar el tema estado gaseoso, con las características de las partículas al estudiar estructura atómica y se completa con el estudio de uniones químicas y geometría molecular.

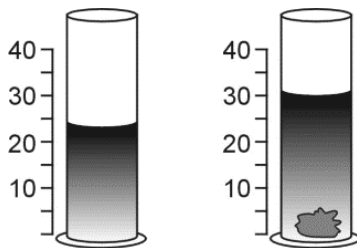
El modelo es utilizado para interpretar el comportamiento macroscópico de diferentes sistemas (soluciones, cambios químicos, equilibrio).

**Ejemplos de utilización del modelo en la Guía de Problemas<sup>1</sup>**

**Unidad 1: Sistemas materiales**

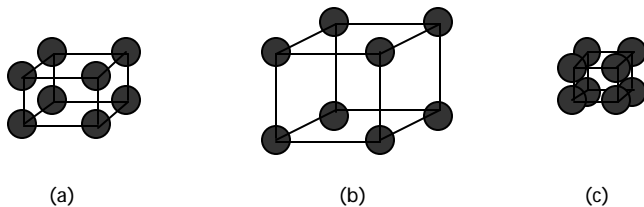
**Ejercicio 1**

En un recipiente graduado se vierte agua líquida, hasta que la marca leída es 25,0 cm<sup>3</sup>. Se coloca en su interior un bloque de grafito cuya masa es de 13,5 g. El nivel del agua sube hasta llegar a 31,0 cm<sup>3</sup>. Calcular la densidad del grafito.



**Ejercicio 2**

Los siguientes dibujos representan la estructura cristalina de tres metales. ¿Cuál de estos metales tiene la densidad más baja? (Considerar que la diferencia de masa de los átomos es pequeña.)

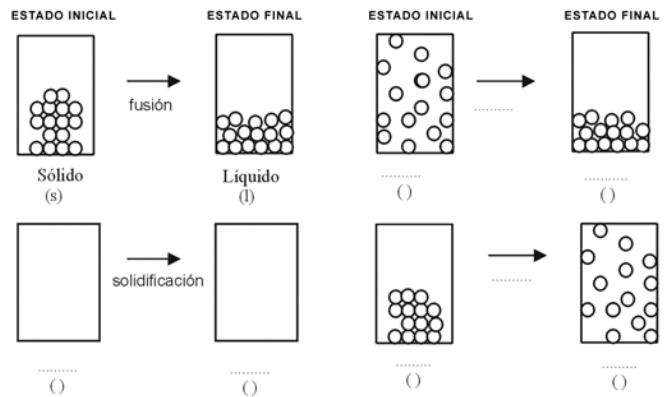


*Comentario:* Con estos dos ejercicios se pretende articular, para una propiedad macroscópica como la densidad, los niveles macro y submicroscópico de explicación.

<sup>1</sup> Los ejercicios marcados con un asterisco (\*) son adaptaciones de los propuestos por Raviolo y Andrade, *Educación en la Química*, 3[1]8, 1997.

**Ejercicio 3**

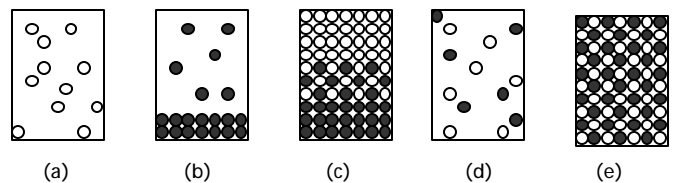
Completar los siguientes esquemas que representan cambios de estado de la materia a nivel submicroscópico, tal como se indica en el primero para la fusión.



*Comentario:* Se busca que los alumnos relacionen la representación submicroscópica de algunos cambios de estado con la nomenclatura propia del nivel macroscópico.

**Ejercicio 4**

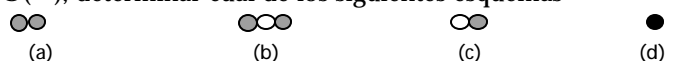
¿Cuál o cuáles de los siguientes esquemas representan a un sistema heterogéneo? ○ y ● representan partículas submicroscópicas diferentes.



*Comentario:* En este ejercicio están representados los tres estados de la materia. Con la inclusión de los esquemas (c) y (e) se pretende, además, que los alumnos interpreten que (c) es un sistema heterogéneo sólido debido a que la falta de regularidad en la distribución de sus partículas hace que las propiedades intensivas no sean iguales en todos sus puntos. Lo contrario ocurre en (e), donde la regularidad en la distribución y permite clasificarlo como un sistema homogéneo sólido.

**Ejercicio 5**

Si representamos a los átomos con círculos: C(○), He(●), O(◐), determinar cuál de los siguientes esquemas

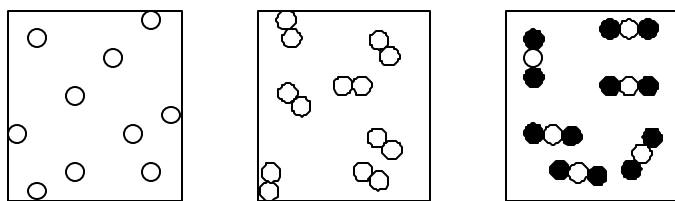


corresponde a cada una de las siguientes moléculas:

- oxígeno (O<sub>2</sub>)
- monóxido de carbono (CO)
- dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- helio (He)

**Ejercicio 6**

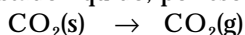
Indicar cuáles de los siguientes esquemas representan sustancias simples y cuáles sustancias compuestas o compuestos. (Los círculos representan átomos.)



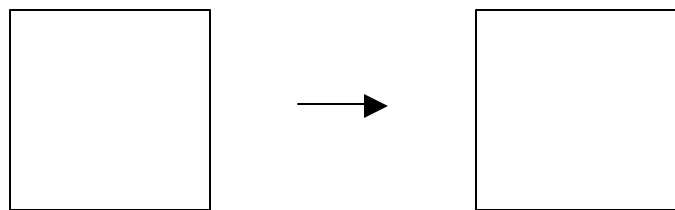
*Comentario:* Con estos dos ejercicios se pretende dar una primera "identidad" a las partículas.

**Ejercicio 7**

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sólido, a presión y temperatura ambiente cambia directamente de sólido a gas sin pasar por el estado líquido, por eso se lo llama "hielo seco".



- a) indicar cómo se llama ese cambio de estado
- b) representar dicho cambio en el siguiente esquema



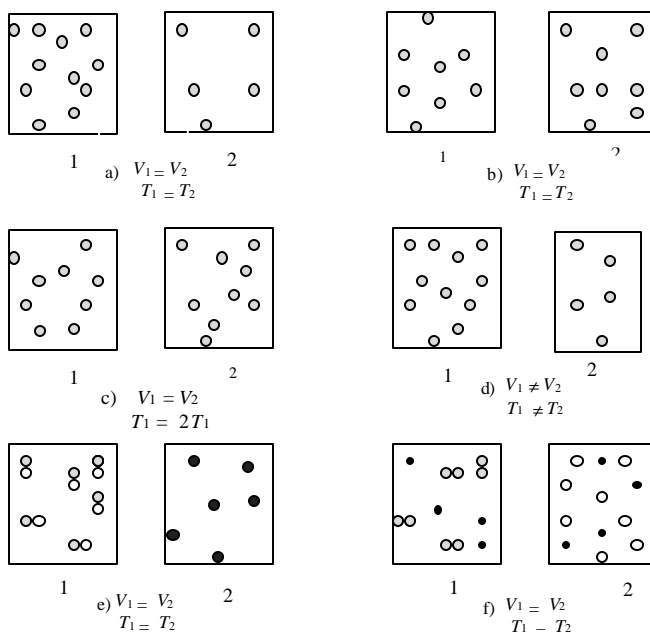
*Comentario:* Éste es el primer ejercicio donde los alumnos deben integrar el nivel macroscópico, el submicroscópico y la expresión simbólica del cambio de estado.

**Unidad 2: Estado gaseoso**

**Ejercicio 1**

Para cada uno de los siguientes esquemas:

- a) Aplicando los postulados de la Teoría Cinética, indicar si  $P_1$  es o no diferente a  $P_2$ ; ( $P$  = presión).
- b) Señalar en cuál o cuáles se representa el principio de Avogadro.

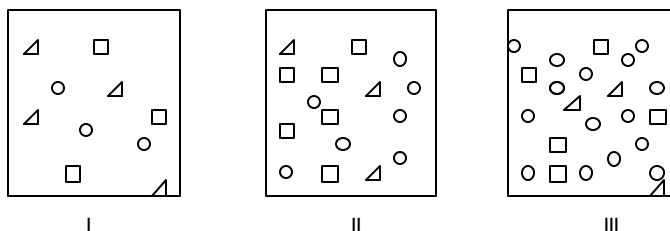


*Comentario:* En este ejercicio los alumnos pueden articular los tres niveles de análisis, submicroscópico, macroscópico y simbólico.

**Ejercicio 2**

Las figuras siguientes representan minúsculas porciones de tres mezclas gaseosas, todas a igual volumen y temperatura, donde:

□ = gas A; ▽ = gas B; ○ = gas C



- a) ¿Cuál de las mezclas tiene la mayor presión parcial del gas A?
- b) ¿Cuál de las mezclas tiene la mayor fracción molar del gas B?
- c) En la muestra III, expresar la concentración del gas A en partes por millón, ppm.
- d) ¿Cuál de los recipientes soporta la mayor presión?

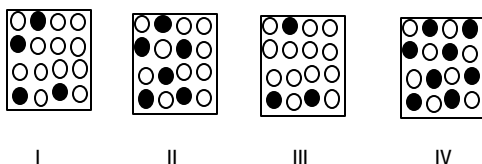
*Comentario:* En este ejercicio se vincula una propiedad macroscópica, la presión parcial, y dos formas de expresión de la

concentración de un gas, con el número de partículas presentes en los sistemas dados. Esto permite el trabajo con aspectos cuantitativos.

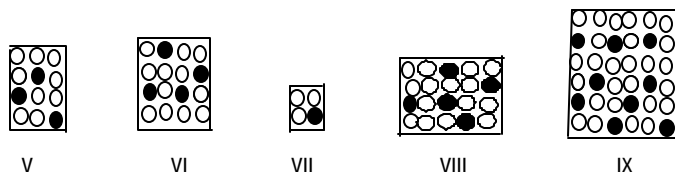
**Unidad 3: Disoluciones**

**Ejercicio 1**

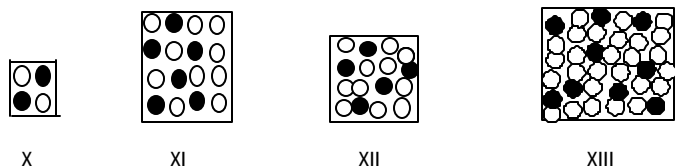
a) Las siguientes figuras representan disoluciones de igual volumen (el área de la figura es proporcional al volumen), en las que los círculos llenos corresponden a moléculas de soluto y los círculos vacíos a moléculas de disolvente. Ordenar las disoluciones I a IV en orden creciente de concentración.



b) Hacer lo mismo para las disoluciones (de volúmenes distintos) representadas por las figuras V a IX.



c) Repetir para las disoluciones representadas por las figuras X a XIII.



d) El esquema XIII representa un determinado volumen de disolución. Haga una representación que corresponda a un tercio de ese volumen y otra correspondiendo al doble.

**Ejercicio 2**

Las figuras siguientes representan dos disoluciones (A y B) de igual volumen, con dos solutos diferentes. (Los círculos vacíos representan moléculas de disolvente y los círculos llenos moléculas de soluto.) La masa de las moléculas grandes de soluto es el doble de la masa de las moléculas más pequeñas.



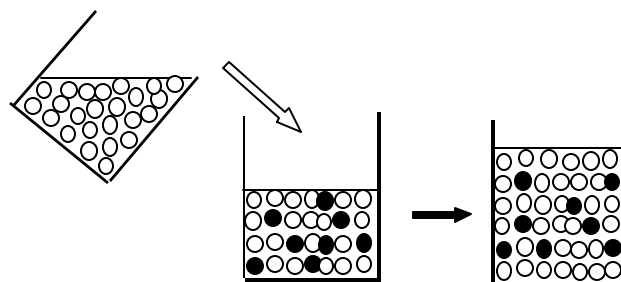
- a) ¿Cuál es la disolución más concentrada?
- b) ¿Cuál es más concentrada, desde el punto de vista de la masa?
- c) ¿Cuál es más concentrada, desde el punto de vista del número de moles?

*Comentario:* Con los ejercicios 1 y 2 se pretende relacionar una característica de las disoluciones, su concentración, con la composición submicroscópica de las mismas. En nuestra opinión, es particularmente interesante el ejercicio 2 porque ilustra claramente la diferencia entre dar la concentración en moles o en masa por unidad de volumen.

**Ejercicio 3**

Explicar el proceso representado en el esquema, señalando:

- a) Su nombre;
- b)Cuál de los componentes del sistema se mantiene constante luego del proceso.

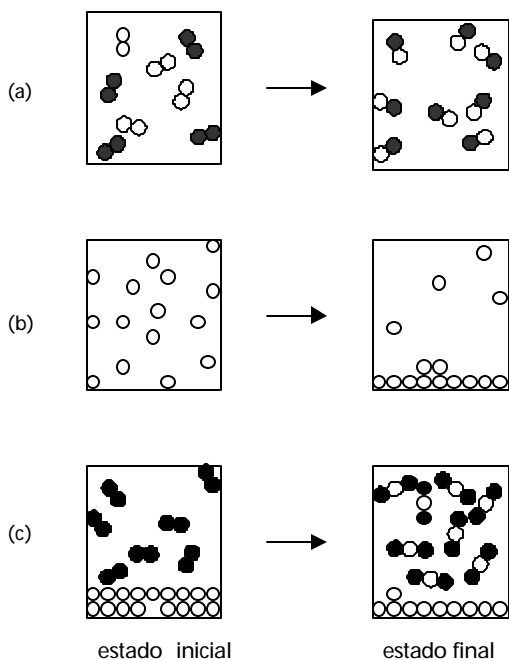


○ : moléculas de disolvente  
● : moléculas de soluto

Unidad 6: Reacciones químicas

\* Ejercicio 1

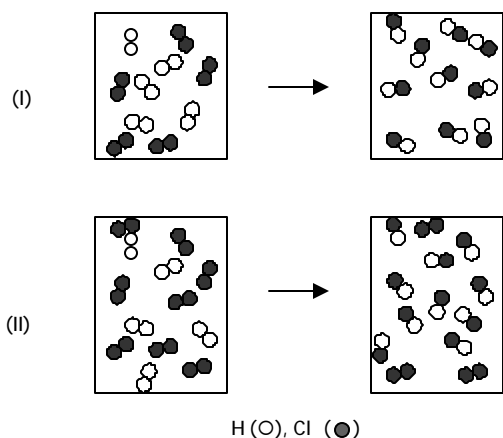
¿En cuál o cuáles de estos diagramas se representa un cambio químico?



*Comentario:* En este ejercicio se induce al estudiante a diferenciar cambio químico y físico desde el punto de vista submicroscópico.

Ejercicio 2

Seleccionar entre las siguientes ecuaciones la o las que corresponden a la reacción química representada en cada esquema (I) y (II):

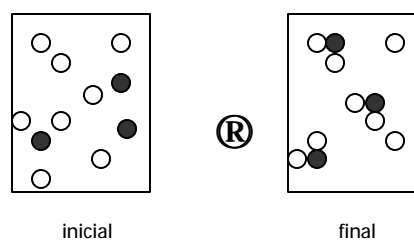


- a)  $10 \text{ Cl} + 10 \text{ H} \rightarrow 10 \text{ HCl}$
- b)  $5 \text{ Cl}_2 + 5 \text{ H}_2 \rightarrow 10 \text{ HCl}$
- c)  $\text{Cl} + \text{H} \rightarrow \text{HCl}$
- d)  $8 \text{ Cl}_2 + 5 \text{ H}_2 \rightarrow 10 \text{ HCl} + 3 \text{ Cl}_2$
- e)  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{HCl}$

*Comentario:* En este ejercicio se vincula el nivel submicroscópico con el lenguaje simbólico. En la representación II y el análisis de la respuesta (d) se pretende además hacer notar que la ecuación simbólica de un cambio químico no incluye al o a los reactivos en exceso.

Ejercicio 3

Si el elemento X se representa con (●) y el elemento R con (○), ¿cuál de las ecuaciones que se indican más abajo describe la reacción representada en los esquemas?

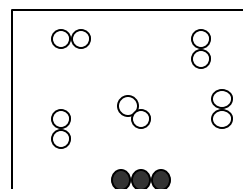


- a)  $3 \text{ X} + 8 \text{ R} \rightarrow \text{X}_3\text{R}_8$
- b)  $3 \text{ X} + 6 \text{ R} \rightarrow \text{X}_3\text{R}_6$
- c)  $\text{X} + 2 \text{ R} \rightarrow \text{XR}_2$
- d)  $3 \text{ X} + 8 \text{ R} \rightarrow 3 \text{ XR}_2 + 2 \text{ R}$

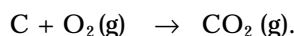
*Comentario:* Ésta es una versión un poco más elaborada del ejercicio anterior, ya que la fórmula de la sustancia producto es del tipo  $\text{XR}_2$ , lo que dificulta el balance de los coeficientes de la ecuación.

Ejercicio 4

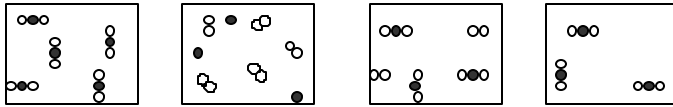
La figura siguiente representa el estado inicial de una mezcla de C (●) y  $\text{O}_2$  (○○)



antes de reaccionar según la ecuación:



¿Cuál de las figuras siguientes representa el estado final después de la reacción?



*Comentario:* Con este ejercicio se pretende representar el concepto de reactivo en exceso, también visto en el esquema que representa el estado final del ejercicio anterior.

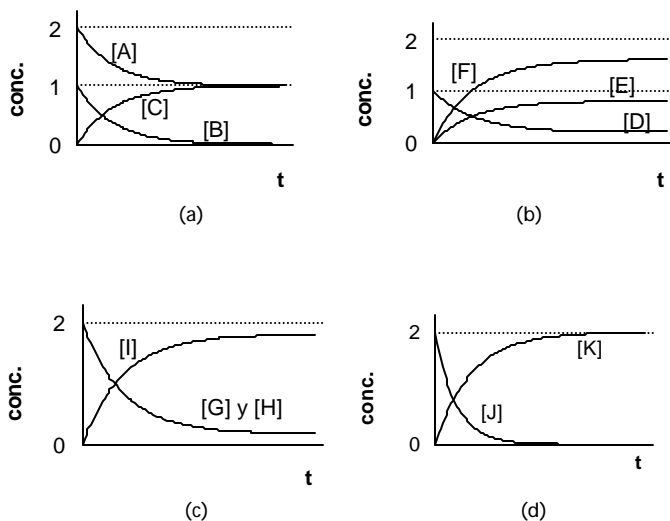
**Unidad 7: Equilibrio químico. Equilibrio ácido-base**

**Ejercicio 1**

Se estudian las siguientes reacciones químicas en función del tiempo.

- a)  $A + B \rightarrow C$
- b)  $D \rightarrow E + 2 F$
- c)  $G + H \rightarrow I$
- d)  $J \rightarrow K$

Los gráficos que representan la variación de la concentración molar de reactivos y productos en función del tiempo, son los siguientes:



*Indicar*

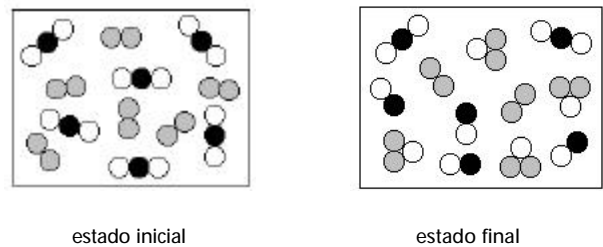
- a) Cuál o cuáles de estas reacciones tienen rendimiento 100% y cuáles no;
- b) Si alguno de los gráficos no corresponde a una situación de equilibrio.

*Comentario:* Relación del lenguaje gráfico con el simbólico.

**Ejercicio 2**

En los siguientes esquemas se representan los estados inicial y final correspondientes a la reacción entre  $H_2(g)$  y  $CO_2(g)$  a una temperatura de 2,000 K.

(○) representa un átomo de oxígeno, (●) uno de carbono y (◐) uno de hidrógeno.

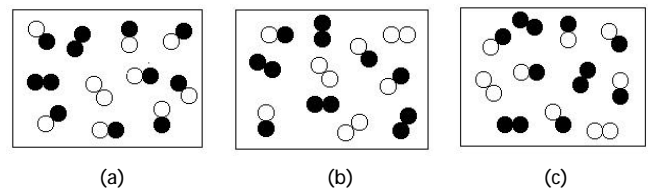


- a) Escribir la ecuación correspondiente a la reacción.
- b) Calcular el valor de  $K_c$  de la reacción a esa temperatura.

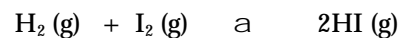
**Ejercicio 3**

En cada uno de los siguientes recipientes hay una mezcla de  $H_2(g)$ ,  $I_2(g)$  y  $HI(g)$  a una temperatura determinada.

(○) representa un átomo de hidrógeno y (●) uno de yodo.



Indicar en cada caso hacia dónde evolucionará la reacción representada por:



sabiendo que  $K_c = 6,00$  a esa temperatura. Justificar las respuestas.

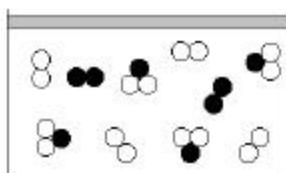
*Comentario:* Tanto este ejercicio como el anterior permiten vincular aspectos cuantitativos con los niveles submicroscópico y simbólico de análisis.

**Ejercicio 4**

El siguiente esquema representa un recipiente con tapa móvil. En éste se halla una mezcla de gases en equilibrio corres-

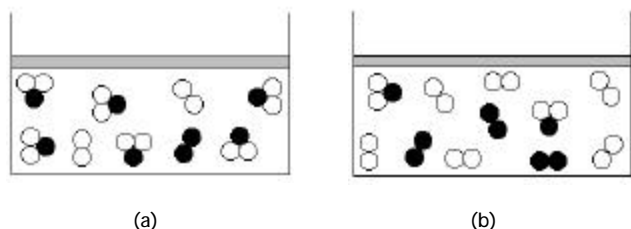
pondiente a la reacción entre  $A_2(g)$  y  $B_2(g)$ , a una temperatura determinada.

(○) representa un átomo de A y (●) uno de B.



Escribir la ecuación correspondiente a la reacción.

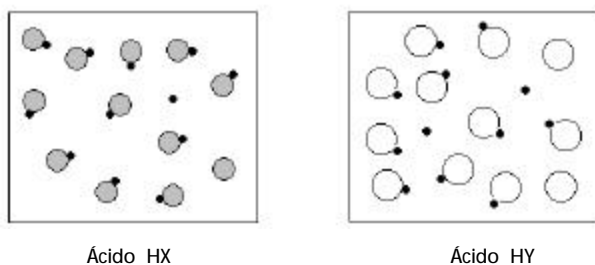
Si se disminuye el volumen del recipiente, sin cambiar la temperatura, indicar cuál de los siguientes esquemas representa al sistema final. Justificar la respuesta.



*Comentario:* Con este ejercicio se pretende la utilización del lenguaje simbólico y que se vinculen las consecuencias macroscópicas del principio de Le Chatelier con la representación submicroscópica del sistema.

### Ejercicio 5

En los siguientes esquemas se representa el estado de equilibrio correspondiente a la disociación de moléculas de dos ácidos HX y HY, a la misma temperatura.



Justificar cuál es el ácido que tiene mayor  $pK_a$ . Comparar el pH de ambas disoluciones. Justificar.

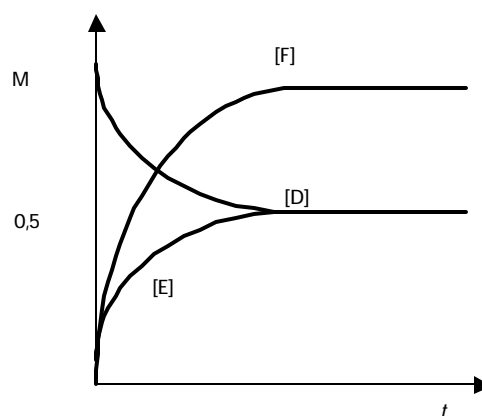
**Nota:** Por simplicidad, no se han representado las moléculas de disolvente.

*Comentario:* En este ejercicio se ponen en juego los tres niveles de análisis.

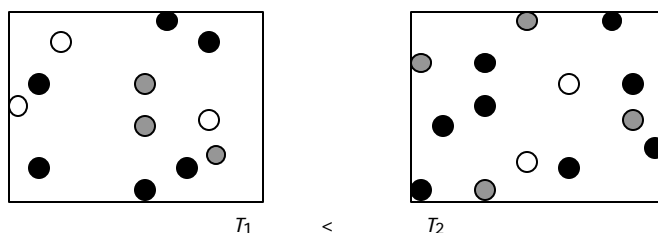
### Ejemplos de ítems de evaluación

#### Ejemplo 1

- El gráfico representa, para una reacción química a una dada temperatura, la variación de la concentración molar de reactivos y productos en función del tiempo.
  - Escribir la ecuación simbólica que representa el proceso;
  - Calcular el valor numérico de la constante de equilibrio, aclarando cómo lo obtiene.



- Al aumentar la temperatura el sistema indicado en (a) evoluciona según indican los dibujos, donde: D es (○); E es (●), y F es (●).

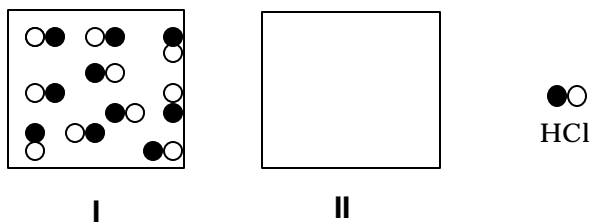
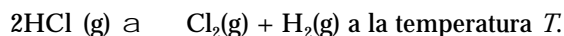


Explicar si se trata de una reacción endotérmica o exotérmica.



## Ejemplo 2

Se tiene la reacción:



i) Si el esquema I representa a esa temperatura un conjunto de moléculas de HCl (g) antes de producirse la reacción indicada, hacer en el recuadro II un esquema del estado de equilibrio, sabiendo que en el mismo se encuentra el 60,0% de las moléculas de HCl (g) iniciales.

ii) Calcular el valor de  $K_c$  para la reacción dada.

iii) Graficar en un sistema de coordenadas la variación de la concentración molar de reactivos y productos en función del tiempo, si se parte de:

$$[\text{HCl}](\text{g}) = 3,00 \text{ M}; [\text{Cl}_2](\text{g}) = 0,00 \text{ M}; [\text{H}_2](\text{g}) = 0,00 \text{ M}$$

### Referencias bibliográficas

Angelini M., Baumgartner E., Guerrien D., Landau L., Lastres L., Roverano M., Sileo M., Torres N., Vazquez I. Bajos rendimientos académicos, ¿una percepción equivocada?, *Ed. en la Quím.*, **5** [2] 11-17, 1999.  
 Cátedra de Química del CBC, *Guía de Problemas*. CCC Educando, Buenos Aires, 1998 (ISBN 950-807-021-8).  
 Gabel D. J., Use of the particle nature of matter in developing

conceptual understanding, *J. Chem. Educ.*, **70** [3], 193-194, 1993.

Gabel D. J., Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *J. Chem. Educ.*, **76** [4], 548-554, 1999.

Gendell J., The Solution is not the Problem, *J. Chem. Educ.*, **64** [6] 523-524, 1987.

Johnstone A., Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *J. Comp. Ass. Learning*, **7**, 75-83, 1991.

Landau L., Angelini M., Baumgartner E., Guerrien D., Lastres L., Roverano M., Sileo M., Torres N., Vazquez I., "Buscando un abordaje conceptual más efectivo". *1er Encuentro Latinoamericano de Educación Química. VI Encuentro Chileno de Educación Química*. Arica, Chile, 1998.

Lastres L., Landau L., Sileo M., Baumgartner E., Pouchan I., Torres N., Vazquez I., "Evaluaciones diagnósticas en un curso masivo de Química". *V Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*. Murcia, España, 1997.

Lastres L., Angelini M., Landau L., Sileo M., Torres N., Utilización de demostraciones experimentales como un recurso didáctico. Primera parte. *Educ. Quím.*, **9** [2] 73-79, 1998; segunda parte. *Educ. Quím.*, **9** [4] 227-231, 1998.

Nakhleh, M., Why some students don't learn Chemistry: chemical misconceptions, *J. Chem. Educ.*, **69** [3], 191-196, 1992.

Nakhleh M., Mitchell R., Concept learning versus problem solving: There is a difference, *J. Chem. Educ.*, **70** [3], 190-192, 1993.

Nurrenberm S., Pickering M., Concept learning versus problem solving: is there a difference?, *J. Chem. Educ.*, **64** [6] 508-510, 1987.